

굴착기 암과 연결핀의 구조해석

한문식*, 조재웅⁺

(논문접수일 2010. 11. 2, 심사완료일 2010. 12. 30)

Structural Analysis of Excavator Arm and its Connection Pins

Moon Sik Han*, Jae Ung Cho⁺

Abstract

Hydraulic excavator in digging at the construction machinery is a widely used mechanical device. Excavator attachments are taken with structural load and fatigue during digging under applied reaction. Fatigue analysis is done at joint pin between bucket and arm of front attachment at excavator under the force of hydraulic cylinder in operation. It is analyzed how load can be supported at the lower driving body applied on the bucket. In this study, the deformation of arm and the fatigue result are examined when reaction force is applied on the attachment of excavator.

Key Words : Excavator(굴착기), Digging(굴착), Reaction force(반력), Total deformation(전변형량), Equivalent stress(등가응력), Life(수명), Damage(손상)

1. 서론

오래전부터 인간은 환경을 개발하고, 이용하는 데 있어서 보다 편리한 도구를 사용하기 위해 필요한 기계장비^(1,2)를 고안해서 사용했다. 이러한 도구들은 그 시대의 자재와 인간의 지혜를 바탕으로 발명되고 고안되어 이용되어졌으며, 계속하여 문제점을 보완하고 개선되어 더욱 더 발전해오고 있다. 이처럼 오래전부터 인간은 필요에 의해 많은 건설기계들을 개발하고 사용해오면서 다양한 문제점을 발견하게 되었는데, 그 중에서도 갑작스러운 기계의 파손이 큰 문제점으로 인식되어져서 피로파손에 대한 연구가 매우 중요하게 여겨지고 있다. 특히 건축분야에 있어서 유압식 굴착기(Excavator)는 땅을 파거나 깎을 때 사용되는 건설기계로 우리 주위에서 널리 사용되고 있는 기계장비이다. 이런 유압식 굴착기의 주요 원리^(3,4)는 관절부위에 유압피스톤 장치가 되어 있어 그 피스톤이 주사기처럼

길어졌다 짧아졌다 하면서 굴착기가 움직이게 된다. 이 피스톤을 움직이는 힘이 유압 장치이며, 즉 파스칼의 원리를 이용한 유압장치를 사용하여 작은 힘으로 큰 힘을 발휘하게 한다. 이처럼 굴착기는 유압실린더를 이용하여 작은 힘으로 큰 힘을 얻어 사용됨으로서 각 부품에 피로파손에 대한 부품 수명이 중요하다 할 수 있다. 그리고 굴착기의 구조 및 기능에 대하여 살펴보면, 상부회전체, 하부주행체, 프론트 어태치먼트(작업장치)로 구성되어 있다.

굴착기의 프론트 어태치먼트(작업 장치)는 Fig. 1 에서 알 수 있듯이 유압실린더 붐, 암, 버킷으로 구성되는데, 유압펌프에서 공급되는 유압이 각각의 유압실린더에 공급되면서 힘을 증대시켜 작업을 수행하게 된다.

상부회전체⁽⁴⁾는 Fig. 2와 같이 하부 주행 체의 프레임이 스윙 볼 레이스에 결합되어 360° 선회할 수 있으며, 기관, 조종 장치, 유압탱크, 컨트롤 밸브, 유압펌프, 선회장치 등이 설치되어있다.

* 계명대학교 기계자동차공학과

+ 교신저자, 공주대학교 기계자동차공학부 (jucho@kongju.ac.kr)

주소: 330-717 충청남도 천안시 공업대길 34

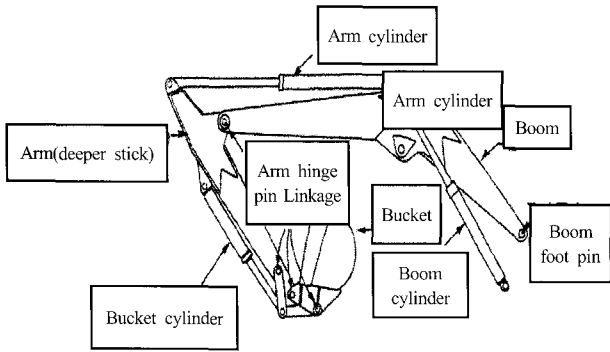


Fig. 1 Structure of excavator

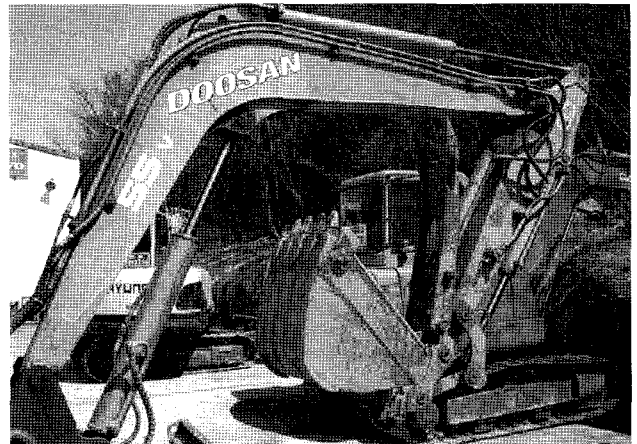


Fig. 4 Operation of excavator

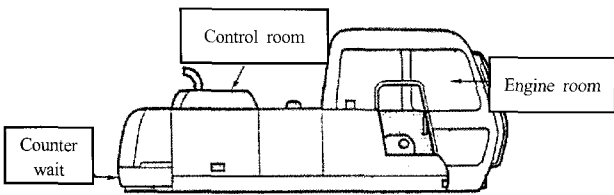


Fig. 2 Upper revolution body

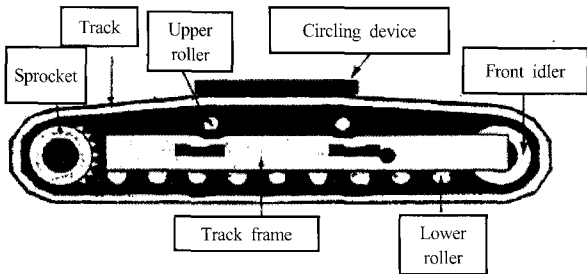


Fig. 3 Lower driving device

마지막으로 하부주행체는 Fig. 3과 같이 상부회전체와 프론트 어태치먼트 등의 하중을 지지함과 동시에 굴착기를 이동시키는 장치이다. 이때 2가지 방식이 사용되는데 타이어식과 체인을 이용한 무한 궤도식이다. 타이어식은 자동차와 마찬가지로 기관에 동력이 전달되어 바퀴가 회전하지만, 무한 궤도 식은 주행모터(유압모터)에 의해서 체인의 트랙을 회전시켜 이동된다. 해석한 파트는 Fig. 4와 같이 굴착기가 작업 시 유압실린더의 힘을 받아 사용될 때 프론트 어태치먼트의 버킷과 암 사이사이에 연결핀의 피로해석 및 작업 시 굴착에 가해지는 힘에 따른 하부주행체가 어느 정도까지 하중을 지지할 수 있는지를 해석해 보았다.

본 해석⁽⁵⁾의 중요성에 대해 간단히 예를 들어보면, 철근은 1회만 굽히면 부러지지 않지만 몇 번의 굽힘을 반복하게 되면 재질이 견고하고, 동시에 약해지게 된다. 이와 같이 반복되는 부하에 의한 재질의 변화를 피로(Fatigue)라고 한다. 그리고 어느 한도 이상까지 피로가 진행되게 되면 재료는 파괴된다. 이를

피로파괴(Fatigue Fracture)라고 하며, 항복점 이하의 응력에서도 피로가 반복되면 변형이 축적되어 시간에 지남에 따라 재료의 변형이 일어난다. 굴착기와 같은 큰 힘을 사용하는 운동 상태에 있는 기계부품은 사용시간이 경과함에 따라서 피로가 진행되는 데, 특히 사용 중에 마모가 진행되고, 점차로 재료의 강도가 저하된다. 이것은 서서히 진행되지만, 피로의 진행은 외형상의 변화를 거의 수반하지 않고 어느 한계점에 도달하면 갑자기 파괴가 일어나므로 정확한 부품의 피로한계(부품수명)를 알고 미리 교환하여, 사고를 미연에 방지하도록 해야 한다. 따라서 사고의 원인이 될 수 있는 굴착기의 암과 암사이의 연결핀, 버킷과 암사이의 연결핀에 피로파괴의 한계를 해석해보았으며, 더불어 작업 시 버킷에 가해지는 힘에 따른 하부주행체가 어느 정도까지 하중을 지지할 수 있을지를 해석하기 위해 하부주행체를 Fixed Support로 고정을 시키고 버킷과 암에 힘을 가하여 해석하였다⁽⁵⁻⁸⁾.

본 해석에서는 13톤 대형 굴착기를 모델링하였으며 CATIA V5 프로그램을 사용하여 모델링을 하였다. ANSYS 11.0을 이용하여 연결핀에 가해지는 손상과 피로파괴⁽⁹⁾ 및 암의 변형 등 해석을 수행하였다.

2. 모델 및 해석

2.1 연구 모델

본 연구는 굴착기가 작업 수행 중에 어태치먼트에 가해지는 마모와 응력에 관한 동적해석으로서 모델의 형상은 Fig. 5와 같다.

모델인 암의 높이는 5.3712m이고, 폭은 7.0764m, 체적은 0.70098m³이다. 또 암의 중량은 5502.7kg이었으며, Fig. 6과 같이 본 연구 모델의 절점의 수와 요소의 수는 각각 30665개와 13906개로 되어 있다.

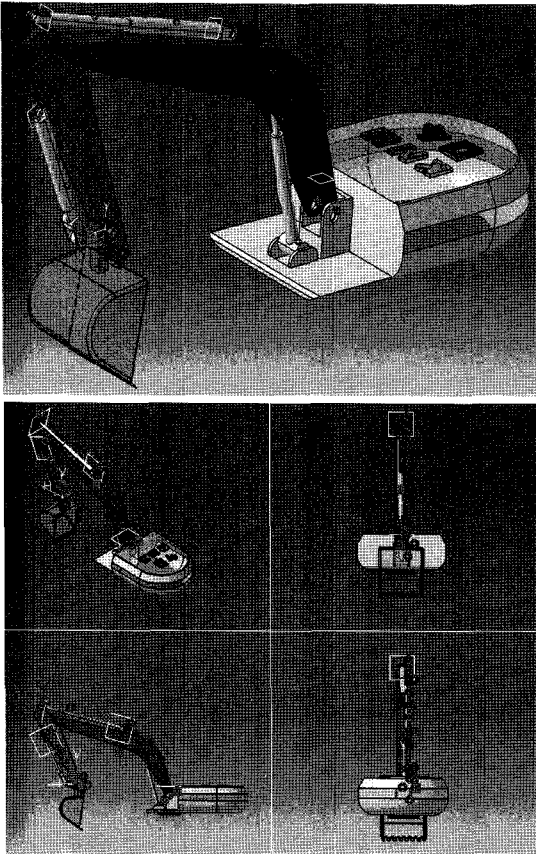


Fig. 5 Model configuration

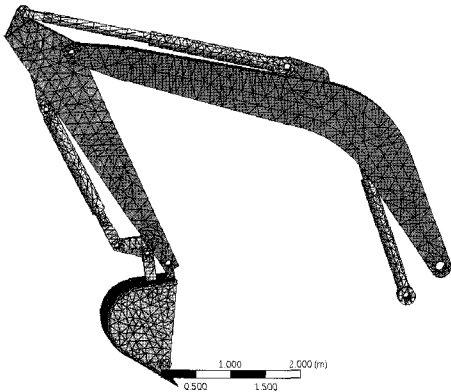


Fig. 6 Mesh of model

2.2 구속 조건

굴착기 암의 재료는 구조용 강으로 되어 있으며, 암의 물성치는 Table 1과 같다. 해석을 위한 굴착기 암의 해석을 위한 구속 조건으로는 Fig. 7과 같이 붐 실린더와 상부회전체, 그리고 붐 푸트 핀과 상부회전체와의 연결부분을 고정시켰다. 이 부분은 붐 푸트 연결 핀으로 연결되는 부분이기에 접촉 조건을 bonded의 접촉 조건을 주었다.

또 다른 구속 조건으로는 Fig. 8과 같이 굴착기 버킷이 힘이 가해졌을 때, 버킷에 가해지는 힘의 크기로서 땅이 아주 단단하

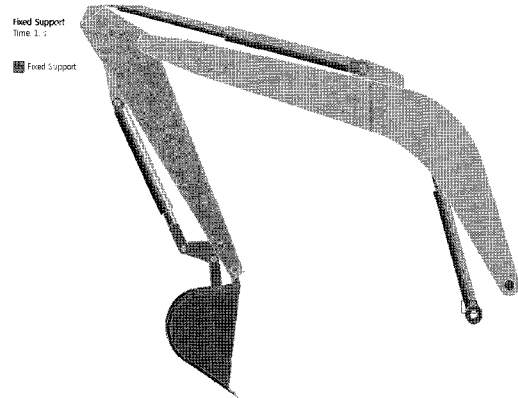


Fig. 7 Fixed support of model

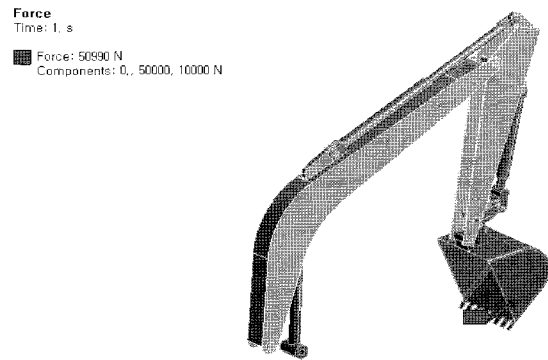


Fig. 8 Force condition of model

Table 1 Material property

Young's Modulus	200000MPa
Poisson's Ratio	0.3
Density	0.00000785Kg/mm ³
Tonsile Yield Strength	250MPa
Compressive Yield Strength	250MPa
Tensile Ultimate Strength	460MPa

다고 가정하여 버킷에 작용하는 반력으로 Y축방향에 50000N을 Z축에 10000N으로 주었다. 13톤 대형 굴착기를 모델로 하여 해석한 것으로서 Y축과 Z축방향의 하중을 실제 현장에서 자주 사용될 수 있는 최대 하중으로서 모델에 적용하였다. 그리고 물성치는 Table 1에서 확인할 수 있다.

2.3 해석 결과

Fig. 9부터 12까지는 굴착기의 버킷이 땅을 굴착작업을 할 때 버킷이 저항을 받음으로써 생기는 암의 변형과 핀에 걸리는 피로 및 응력을 해석한 결과이다. Fig. 9는 굴착기가 반력을 받음으로서 변형량을 등고선 결과로 보이는 것이다. 굴착기 암의 변형량은 0부터 126.92mm로 나타났다. 굴착 시 땅과 직접적으로 맞닿아 있는 버킷의 이빨부분이 126.92mm로 가장 많은

변형이 있다는 것을 볼 수 있다.

Fig. 10은 등가 변형률을 나타내는 것으로 변형률이 최대 0.0021915mm/mm부터 최소 8.3398×10^{-7} mm/mm로 나와 있고 버킷과 암사이를 연결하는 부분에서 최대값이 나오는 것을 볼 수 있다.

Fig. 11은 등가응력을 해석한 것으로 최대 등가 응력 438.3MPa부터 최소 등가 응력 0.1668MPa로 나와 있고 변형률과 같은 등고선 결과가 나타난다.

Fig. 12에서 볼 수 있듯이 전단응력의 분포를 알 수 있고, 최대전단응력은 423.71MPa 이다.

다음은 피로 해석을 한 것으로서 Fig. 13은 x축 상에서는 사 이클 수이고 y축 상에서는 진폭응력 값을 나타낸 그림들이다. 그리고 이 피로 하중은 불규칙 진폭하중으로서 Fig. 14에 나타나 있다.

Fig. 15는 극한 응력을 기준으로 피로수명을 계산하여 등고선에 대한 그림이다. 수명 분포를 등고선을 보면 알 수 있듯이 힘이 가장 많이 받는 연결핀 부분이 수명이 가장 짧은 것으로 나타났다.

Fig. 16은 손상에 대해서 등고선으로 나타낸 것으로 Fig. 15와 같은 경향으로서 연결된 짧은 핀 부분에 손상이 많이 나타난

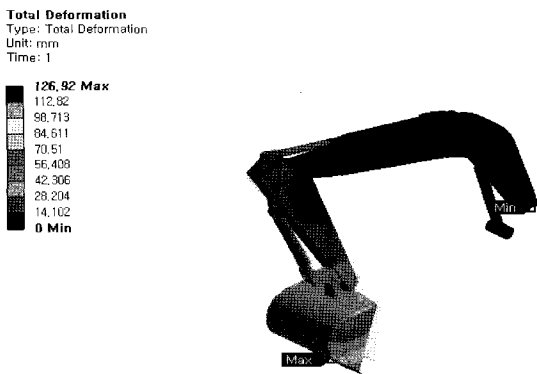


Fig. 9 Contour of equivalent stress at excavator

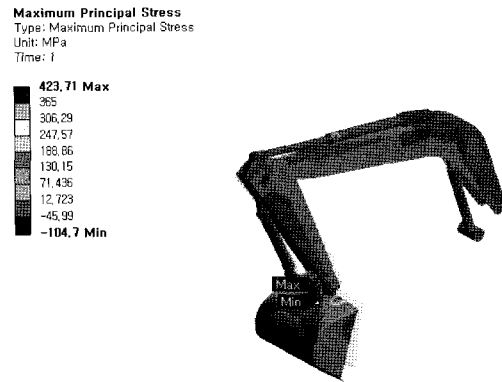


Fig. 12 Contour of shear stress at excavator

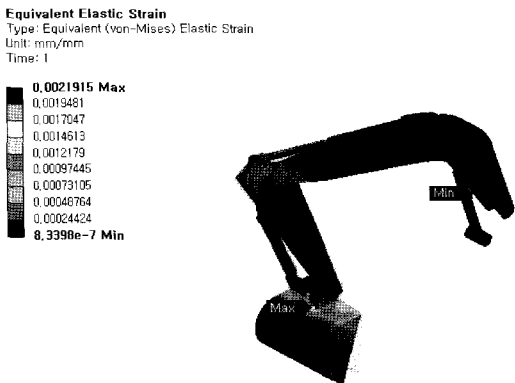


Fig. 10 Contour of equivalent elastic strain at excavator



Fig. 11 Contour of equivalent stress at excavator

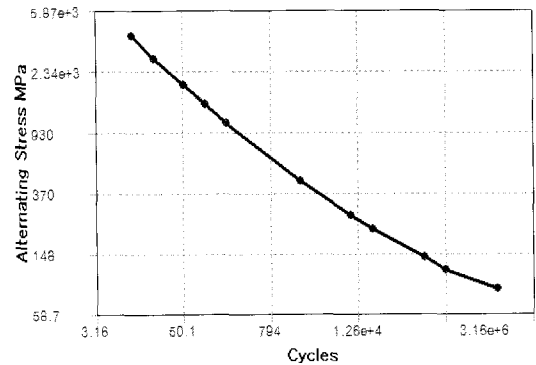


Fig. 13 S-N Curve in fatigue

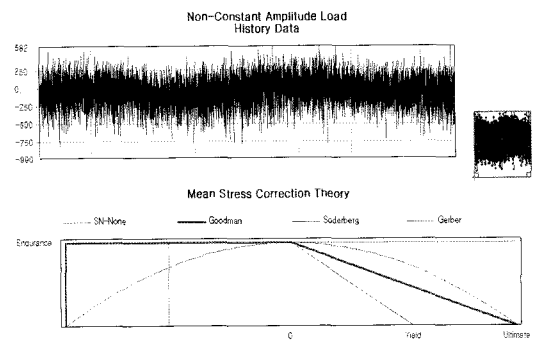


Fig. 14 Loading history

것을 볼 수 있다.

Fig. 17은 안전계수를 등고선으로 그린 그림으로서 재료가 버틸 수 있는 최대 하중을 재료가 받는 최대 하중으로 나누어서 역시 가장 짧은 핀 부분에서 안전 계수가 가장 작게 나타나 그 부분에서의 불안정성을 고려하여 설계해야 됨을 알 수 있다.

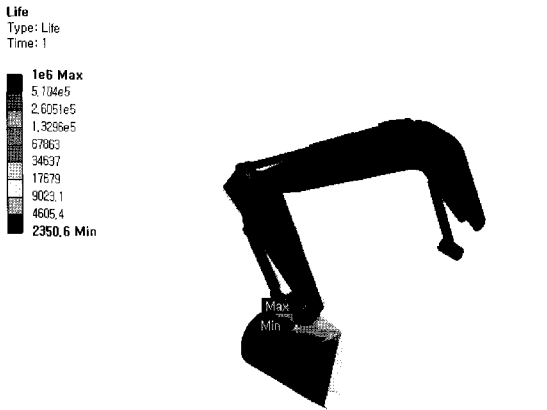


Fig. 15 Contour of life at excavator



Fig. 16 Contour of damage at excavator

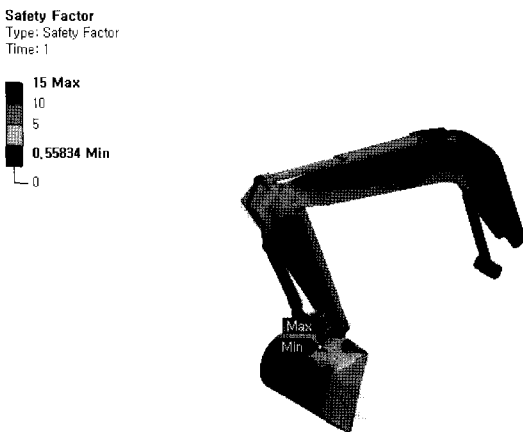


Fig. 17 Contour of safety factor at excavator

3. 결론

본 연구에서는 굴착기의 Attachment(Bucket)에 굴착 시 생기는 반력을 주어 그에 따른 암의 변형을 보고 피로해석을 수행하여 다음과 같은 해석 결과를 보았다.

- (1) 굴착기가 반력을 받음으로서 굴착기 암의 변형량은 0~126.92mm 로 나타났으며, 굴착 시 땅과 직접적으로 맞닿아 있는 버킷의 이빨부분에서 126.92 mm로 가장 많은 변형이 나타났다.
- (2) 등가 변형률과 등가응력은 변형률이 최대 0.0021915mm/mm부터 최소 8.3398×10⁻⁷mm/mm로 나타났으며, 등가 응력은 최대 438.3MPa부터 최소 0.1668MPa 로 버킷과 암 사이를 연결하는 부분에서 최대값이 나오는 것을 알 수 있다. 또 최대전단응력은 423.71MPa 나타났다.
- (3) 피로해석을 수행하였을 때 life, damage, safety factor 모두 힘이 가장 많이 받는 핀 부분이 수명이 가장 짧은 것으로 나타났다.
- (4) 본 해석 결과를 통하여 현장에서 사용하는 굴착기 암과 연결판의 설계에 유용한 자료를 제공할 수 있다고 사료된다.

참고 문헌

- (1) Kim, S. K., and Ock, J. H., 2007, "A Platform Moving Model for an Intelligent Excavator," *The Korean Society of Civil Engineers*, Vol. 27, No. 6D, pp. 767~774.
- (2) Moon, D. H., Cho, H. I., and Baek, S. G., 2006, "A Case Study of the Design of Robot Welding Station in an Excavator Factory Using 3D Simulation," *The Korea Society for Simulation*, Vol. 15, No. 1, pp. 51~58.
- (3) Kim, D. N., Oh, K. W., Hong, D. H., Park, J. H., and Hong, S. H., 2008, "Design of a Remote Controller for Dismantling Processes Using Excavator," *Journal of the Korean Society for Precision Engineering*, Vol. 25, No. 7, pp. 95~102.
- (4) Lee, Y. S., Ok, J. K., Kim, H. J., and Yoo, W. S., 2006, "Analytical Investigation on the Track Separation Mechanism for Tracked Excavator," *Transactions of KSAE*, Vol. 14, No. 6, pp. 66~72.
- (5) Seo, J. M., and Kim, S. K., 2008, "The Study on Measures for Reducing Safety Accidents of Excavator," *The Korea Institute of Building Construction*, Vol. 8, No. 3, pp. 3~144.
- (6) Park, K. D., and Jung, J. W., 2005, "A Study on Fatigue Life of Weld Method for Excavator Bucket," *The*

- Korean Society for Power System Engineering*, Vol. 9, No. 4, pp. 102~109.
- (7) Lim, T. H., and Yang, S. Y., 2006, "Development and Application of Simulator for Hydraulic Excavator," *Journal of the Korean Society for Precision Engineering*, Vol. 23, No. 9 pp. 142~148.
- (8) Kang, S. S., and Cho, S. K., 2010, "Structural Design and Analysis for the Reinforced Frame of Vehicle," *Journal of the Korean Society of Machine Tool Engineers*, Vol. 19, No. 4, pp. 504~510.
- (9) Cho, J. U., Kwon, O. B., and Han, M. S., 2010, "Structural Strength Analysis of Automotive Suspension," *Journal of the Korean Society of Machine Tool Engineers*, Vol. 19, No. 1, pp. 89~93.